Chapitre 15 : Energie et puissance électriques

Cours

A. Courant électrique continu

1. Les différents porteurs de charges

Dans un métal tel que le cuivre, voir figure 1, chaque atome libère un électron, les ions (grande masse) restants sont pratiquement immobiles alors que les électrons (petite masse) sont libres de se déplacer dans le métal. Le courant électrique est fait d'un déplacement d'électrons de charge négative ; Les électrons se déplacent en sens inverse du courant conventionnel

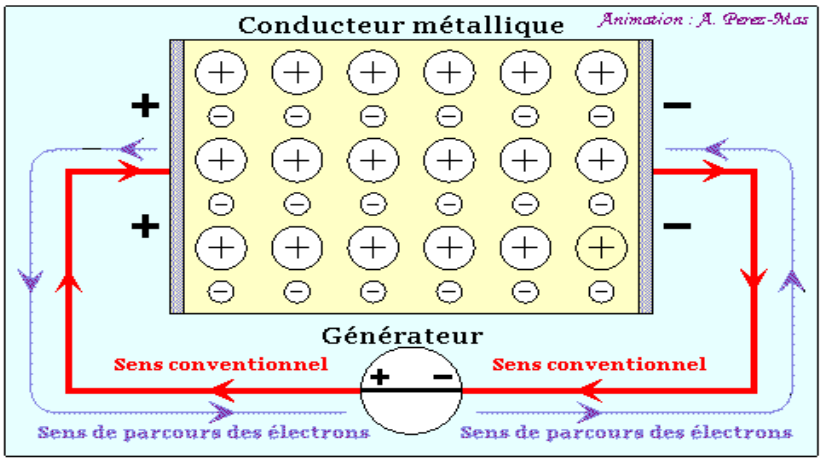

Figure 1

Dans une solution ionique, voir figure 2, les cations (positifs) et les anions (négatifs) sont mobiles. Les cations vont dans le sens du courant conventionnel alors que les anions vont dans le sens opposé.

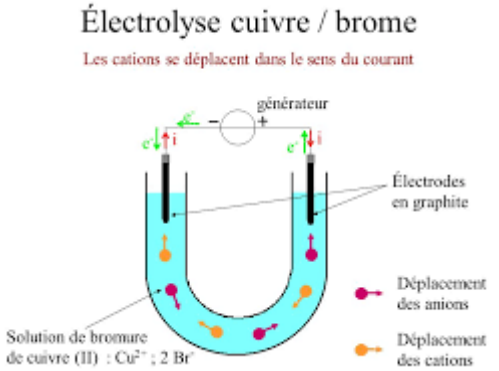

Figure 2

2. Définition de l'intensité

Sur la figure 3 une portion de conducteur électrique. Les points représentent des porteurs de charge, ici des électrons dans un métal. En pointillé une section traversée en permanence par des porteurs de charge. L'intensité est par définition le débit de ces charges :

$$I = \frac{|Q|}{\Delta t}$$

I : Intensité du courant électrique en ampères (A)
|Q| : Valeur absolue de charge électrique en coulombs (C)
Δt : Durée de passage en secondes (s)

Remarques
-1 A $= 1\ C.s^{-1}$
- 1 A.h $= 1$ A.3600 s
$= 3600$ A.s
$= 3600$ C

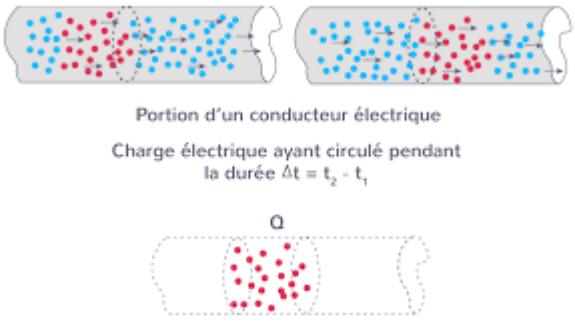

Figure 3

Application
Un courant électrique d'intensité I = 0,20 A circule dans un fil conducteur pendant la durée $\Delta t = 0{,}25$ s. calculer le nombre N d'électrons traversant une section du fil pendant cette durée.
Donnée
$e = 1{,}6.10^{-19}$ C

La relation entre intensité et durée nous permet d'écrire :

$$I = \frac{N\,e}{\Delta t} \quad \text{car } |Q| = |N.(-e)|$$

$$N = \frac{I\,\Delta t}{e}$$

$$= \frac{0{,}20 \times 0{,}25}{1{,}6.10^{-19}}$$

$$N = \underline{3{,}1.10^{17}}\,.$$

B. Sources réelles de tension continue

1. Caractéristique intensité-tension d'une pile

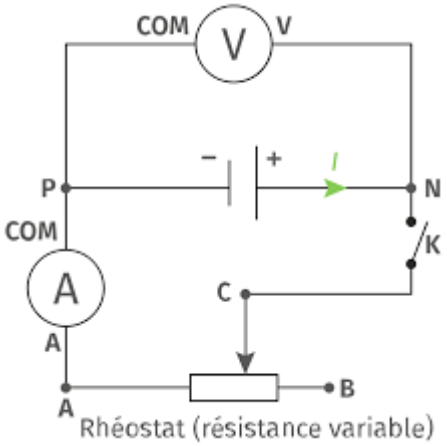

Figure 4

On considère une pile électrique soumise à une tension U et parcouru par un courant d'intensité I. A l'aide du montage (voir figure 4), on obtient le tableau de valeurs suivant.

I (A)	0	0,070	0,12	0,16	0,21	0,28
U (V)	9,0	8,8	8,7	8,6	8,5	8,3

A l'aide d'un tableur on réalise un graphique (figure 5) représentant la tension en fonction de l'intensité.

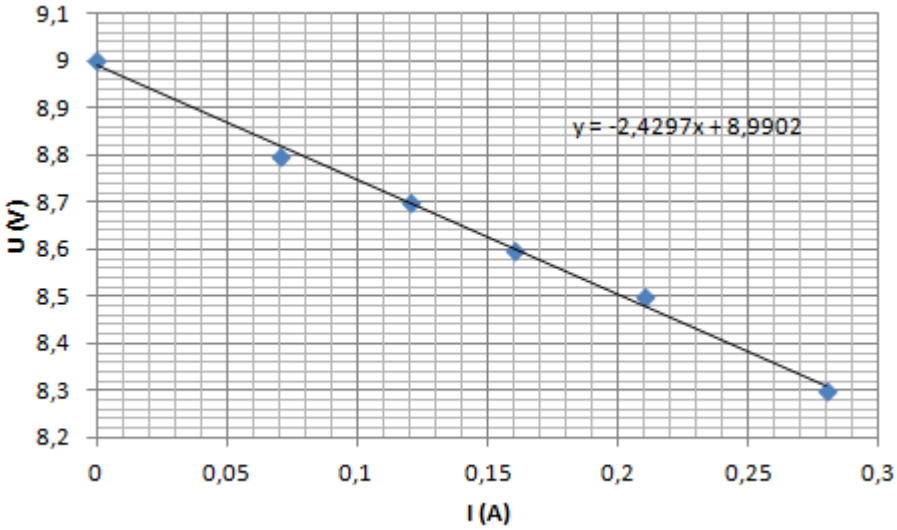

Figure 5

La tension est une fonction décroissante de l'intensité qui se représente bien par une droite affine. Le tableur nous donne U = - 2,4 I + 9,0 ; I en ampères et U en volts.

2. Modélisation d'une source réelle de tension continue

On admettra que la relation entre intensité et tension est du type U = a I + b (ce qui est le cas pour la pile).

Interprétation de b : Si on fait I = 0 dans l'expression U = a I + b, on trouve U = b, par conséquent b est la tension lorsque le générateur ne débite pas (I = 0 donc pas de circuit). On dit que b est la tension à vide et on la note E (comme « force électromotrice »).

Interprétation de a : a ≤ 0 d'après la figure 5. Posons a = -r avec r ≥ 0. Comme son symbole le laisse penser la grandeur r est une résistance car « r fois I » donne une tension. Cette résistance est appelée résistance interne car elle provient de l'intérieur du générateur.

La tension U aux bornes du générateur est la tension aux bornes d'un générateur idéal de valeur E (car ne dépend pas de I) moins la tension Ur aux bornes de la résistance interne r. Sur la figure 6 le schéma équivalent du générateur réel étudié.

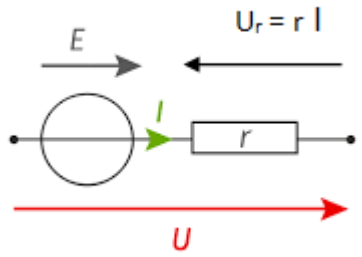

Figure 6

Conventions

-E et I fléchées dans le même sens car il s'agit d'un générateur.

-U_r et I fléchées dans le sens opposé car il s'agit d'un récepteur.

Remarques

-E = 4,5 V et r = 0,5 Ω pour une pile neuve ordinaire LR14.

-E diminue et r augmente lorsque la pile vieillit.

-r= 0 pour un accumulateur (« batterie »)

Application

Quelle est l'intensité I_{cc} de court-circuit d'une pile de force électromotrice E = 1,5 V et de résistance interne r = 0,50 Ω ? Voir le schéma ci-dessous (figure 7).

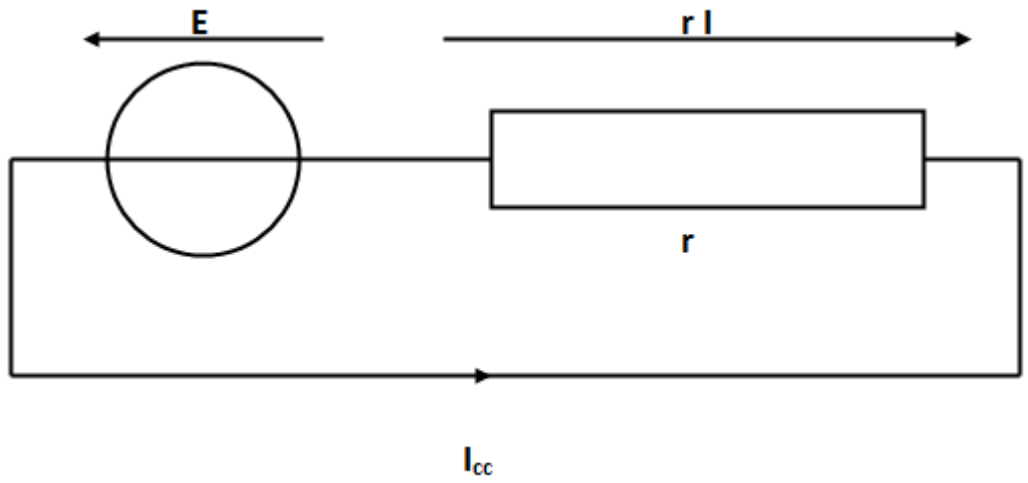

Figure 7

Aux bornes du générateur $U = - r I_{cc} + E$ mais U = 0 car c'est aussi la tension aux bornes d'un fil de connexion :

$- r I_{cc} + E = 0$

$$I_{cc} = \frac{E}{r}$$

$$I_{cc} = \frac{1,5}{0,50}$$

$I_{cc} = \underline{3,0\ A}$.

Vu cette valeur beaucoup trop grande il n'est pas conseillé de court-circuiter un générateur.

3. Source idéale de tension continue

Il s'agit d'un générateur dont la tension délivrée U ne baisse bas s'il débite un courant d'intensité I, c'est possible si la résistance interne r est nulle. La situation est représentée sur la figure 8.

Remarques

-Les accumulateurs aussi appelés batteries ont une résistance interne pratiquement nulle.

-La caractéristique intensité-tension est une droite horizontale.

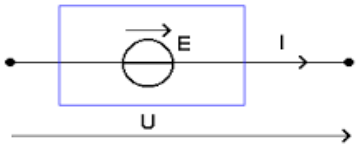

Figure 8

C. Bilan de puissance dans un circuit

1. Définition de la puissance

Pour un dipôle électrique la puissance est par définition le quotient de l'énergie électrique par la durée :

$$\mathcal{P}_{élec} = \mathscr{E}_{élec} / \Delta t$$

$\mathcal{P}_{élec}$: Puissance électrique en watts (W)

$\mathscr{E}_{élec}$: Energie électrique en joules (J)

Δt : Durée en secondes (s)

Remarques
- $1\ W = 1\ J.s^{-1}$
-1 W.h = 1 W.3600 s
= 3600 W.s
= 3600 J
-1 kW.h = $3{,}6.10^6$ J

Dans un dipôle électrique soumis à la tension U et parcouru par un courant d'intensité I, la puissance électrique est égale au produit de la tension par l'intensité :

$$\mathcal{P}_{élec} = U\ I$$

$\mathcal{P}_{élec}$: Puissance électrique en watts (W)

U : Tension en volts (V)
I : Intensité en ampères (A)

Remarque
1 W = 1 V.A

2. Effet joule

Si un conducteur ohmique (voir figure 9), c'est-à-dire un dipôle vérifiant la loi d'ohm $U = R\ I$, reçoit une puissance électrique il va produire de la chaleur et un peu de rayonnement. Cette conversion électrique → chaleur + rayonnement s'appelle l'effet joule.

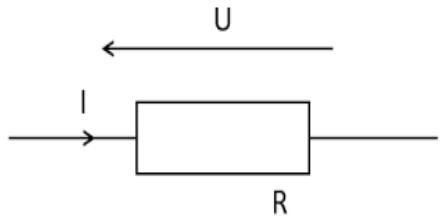

Figure 9

Avec les deux relations $\mathcal{P}_{élec} = U\ I$ et $U = R\ I$, on en déduit $\mathcal{P}_{élec} = R\ I^2$ ou $\frac{U^2}{R}$.

Application
Calculer l'énergie dissipée par effet joule dans une résistance $R = 100\ \Omega$ alimentée par un courant d'intensité $I = 60$ mA pendant la durée $\Delta t = 10$ s.

L'énergie électrique dissipée est $\mathcal{E}_{dissipée} = \mathcal{P}_{dissipée}\ \Delta t$ et la puissance dissipée par effet joule est donnée par $\mathcal{P}_{dissipée} = R\ I^2$, par conséquent

$\mathcal{E}_{dissipée} = R\ I^2\ \Delta t$

$= 100 \times (60.10^{-3})^2 \times 10$

$\mathcal{E}_{dissipée} =$ 3,6 J.

3. Bilan de puissance dans un générateur

Pour un générateur intensité I et tension U sont reliées par $U = -r\ I + E$.
La relation ci-dessus fait intervenir des additions et soustractions de tensions. En multipliant par I on va obtenir une relation additive (addition ou soustraction) entre puissances (car $\mathcal{P} = U\ I$) :

$U\ I = -\ r\ I^2 + E\ I$ ou $E\ I = U\ I + r\ I^2$.

$\mathcal{P}_{fournie} = U\ I$: Puissance fournie au milieu extérieur par la pile (W)

$\mathcal{P}_{thermique} = r\ I^2$: Puissance dissipée par effet joule dans la résistance interne (W)

$\mathcal{P}_{chimique} = E\ I$: Puissance produite par les réactions chimiques au sein de la pile (W)

Application

Comment diminuer la puissance thermique dans un générateur ?

Il faut minimiser le terme r I^2. La solution qui consiste à prendre I très faible n'est pas toujours souhaitable car elle revient à fournir peu d'énergie au circuit extérieur. La meilleure solution consiste à avoir une résistance interne faible ; ce qui impose des matériaux bons conducteurs et un faible encombrement.

4. Rendement d'un convertisseur

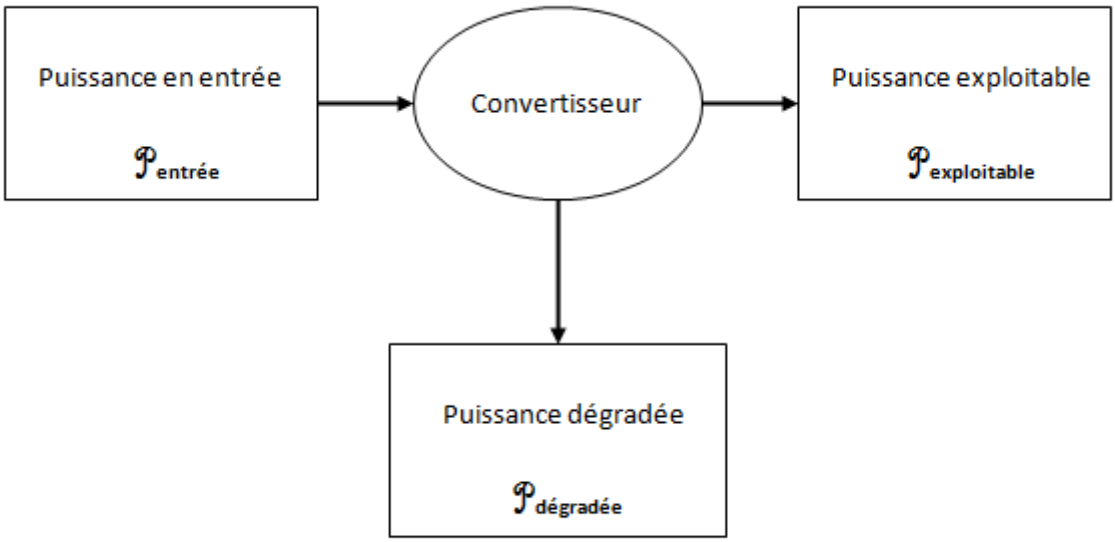

Figure 10

Sur la figure 10 ci-dessus un convertisseur reçoit la puissance d'entrée $\mathcal{P}_{entrée}$ et la transforme en une puissance exploitable (utile) $\mathcal{P}_{exploitable}$. Une partie de la puissance d'entrée (initiale) est perdue ou dégradée (sous forme thermique) $\mathcal{P}_{dégradée}$.

Le rendement du convertisseur est par définition égal au quotient de la puissance exploitable par la puissance d'entrée :

$$\eta = \mathcal{P}_{exploitable} / \mathcal{P}_{entrée}$$

η : Rendement de conversion (sans unité)

$\mathcal{P}_{exploitable}$: Puissance exploitable en watts (W)

$\mathcal{P}_{entrée}$: Puissance d'entrée en watts (W)

Remarque
$\eta < 1$ car $\mathcal{P}_{entrée} = \mathcal{P}_{exploitable} + \mathcal{P}_{dégradée}$.

Application 1
La turbine d'une centrale thermique reçoit en une heure une énergie de 270 GJ et l'alternateur fournit au réseau électrique une énergie de 208 GJ.
1. Calculer la puissance reçue par la turbine et la puissance transmise au réseau par l'alternateur.
La puissance est le quotient de l'énergie par la durée :

$\mathcal{P}_{reçue} = \mathcal{E}_{reçue} / \Delta t$
$= 270.10^9 /3600$
$= \underline{7{,}50.10^7 \text{ W}}$.

$\mathcal{P}_{transmise} = \mathcal{E}_{transmise} / \Delta t$
$= 208.10^9 /3600$
$= \underline{5{,}78.10^7 \text{ W}}$.

2. Calculer le rendement de conversion de la turbine.
Par définition

$\eta = \mathcal{P}_{transmise} / \mathcal{P}_{reçue}$
$= 5{,}78.10^7 / 7{,}50.10^7$
$\eta = \underline{0{,}77}$.

Application 2
Une éolienne utilise l'énergie mécanique du vent afin de produire de l'électricité. Schématiser la chaîne énergétique et donner l'expression du rendement.

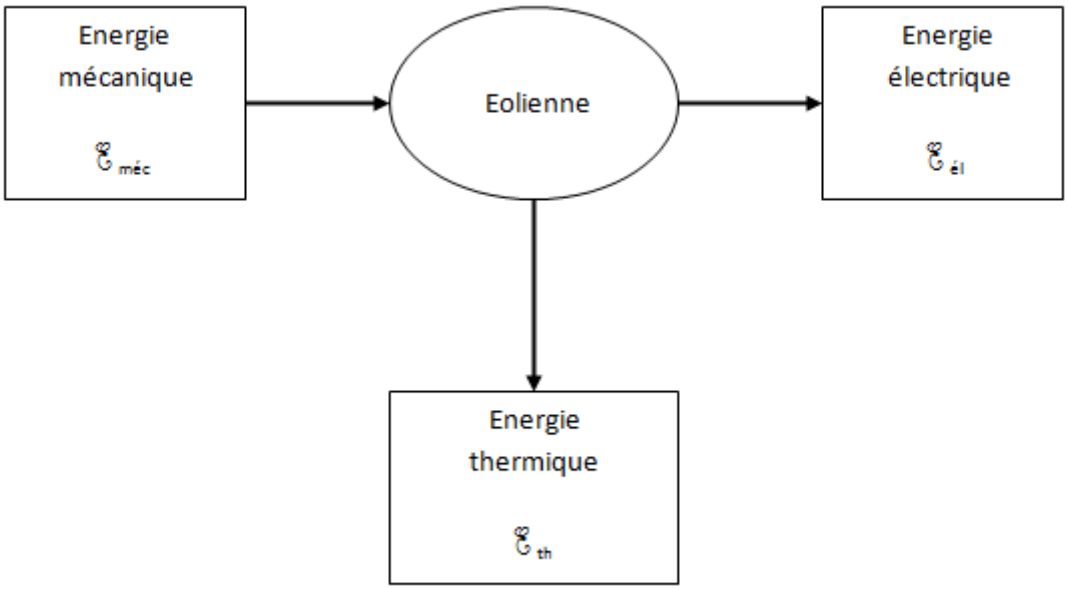

Figure 11

Le rendement de l'éolienne est

$\eta = \mathscr{E}_{él} / \mathscr{E}_{méc}$.

5. Rendement d'un générateur

Le générateur réalise la conversion d'une puissance chimique en une puissance électrique, la résistance interne dissipe par effet joule la puissance thermique. Le rendement est donc

$\eta = \mathscr{P}_{électrique} / \mathscr{P}_{chimique}$

$= U I / E I$

$\eta = U / E.$

Remarques

-L'expression obtenue pour le rendement dépend en fait de l'intensité car $U = -r I + E$.

-Il est facile de montrer que $\eta = 1 - r I/E$; Expression montrant que le rendement diminue si l'intensité augmente.

Application 1

Ecrire un programme en langage Python qui à partir de E, r et I fournit :

-La puissance chimique en entrée ;

-La puissance dissipée par effet joule ;

-La puissance électrique en sortie ;

-le rendement.

```
#Bilan de puissance
def CALCUL_PUISSANCE(E,r,I) :
    U=E-r*I
    Pj=r*I**2
    Pentree=E*I
    Psortie=U*I
    print("La puissance chimique en entrée vaut Pentrée = ",Pentree,"W. \n")
    print("La puissance dissipée par effet joule vaut Pjoule = ",Pj,"W. \n")
    print("La puissance électrique en sortie vaut Psortie = ",Psortie,"W. \n")
    print("Le rendement est de ",round(Psortie/Pentree,2))

CALCUL_PUISSANCE(4.5,0.50,1.0)
```

Exercices

N°	10	page	254
N°	12	page	255
N°	14	page	255
N°	15	page	255
N°	19	page	256
N°	20	page	256
N°	23	page	256
N°	24	page	257
N°	25	page	257
N°	29	page	258